

## MIL-S-901D 부유식 충격시험기의 충격응답해석

권정일<sup>†\*</sup>, 이상갑<sup>\*</sup>, 정정훈<sup>\*\*</sup>

한국해양대학교 해양시스템공학부<sup>\*</sup>  
한국기계연구원 e-엔지니어링 센터<sup>\*\*</sup>

### Shock Response Analysis of MIL-S-901D Floating Shock Platform

Jeong-Il Kwon<sup>\*</sup>, Sang-Gab Lee<sup>\*</sup> and Jung-Hoon Chung<sup>\*\*</sup>

Korea Maritime University, Division of Ocean System Engineering<sup>\*</sup>  
Korea Institute of machinery & Materials, e-Engineering Research Center<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

Underwater explosion shock response analysis of a MIL-S-901D Standard Floating Shock Platform(SFSP) was performed using LS-DYNA/USA, and the accuracy of analysis results was examined through the comparison of them with the existing test results. Surrounding fluid as well as the SFSP was included in a three dimensional finite element model for the consideration of the cavitation effects of UNDEX shock wave. It was confirmed that the analysis results could predict accurately the shock behaviors of the SFSP, and the response characteristics according to heavy weight shock tests could be figured out well.

※Keywords: Shock response analysis, Underwater explosion, MIL-S-901D, Standard floating shock platform, LS-DYNA/USA(충격응답해석, 수중폭발, 표준 중중량 충격시험기)

#### 1. 서론

함정의 전투 능력과 생존성의 측면에서 수중폭발 충격하중에 대하여 내충격 안정성을 확보하는 것이 필수적이다. 이를 위하여 각국 해군에서는 함정의 전투 및 운항 성능에 필수적인 탑재장비에 대하여 충격시험 등을 통하여 내충격 성능을 검증

하도록 요구하고 있다. 우리 해군에서도 미국 해군의 탑재장비에 대한 충격 사양인 MIL-S-901D(1989)에 따라 함정의 탑재장비의 내충격 안정성을 검증받도록 장비 제작사에게 요구하고 있다. MIL-S-901D에서 규정하고 있는 충격시험은 대상장비의 중량에 따라 경중량(light weight), 중간중량(medium weight) 및 중중량(heavy weight) 충격시험으로 분류된다.

현재 국내에서도 경중량 및 중간중량 충격시험기를 이용한 충격시험은 한국 기계연구원을 중심으로 활발하게 이루어지고 있으나 중중량 충격시

접수일: 2005년 6월 27일, 승인일: 2005년 8월 10일

† 주저자, E-mail: jikweon@bada.hhu.ac.kr

Tel:051-410-4934

험기가 없기 때문에 주기관(main engine)과 같은 핵심적인 탑재장비에 대한 충격시험은 불가능하다(정정훈 등 1996). 실제 폭약의 수중폭발 시험을 수행하는 중중량 충격시험은 실선 충격시험과 유사하므로 이를 이용한 실험적 연구는 탑재장비에 대한 내충격 안정성의 확보 측면뿐만 아니라 수중폭발 현상규명 및 수중폭발 충격응답해석의 정확도 검증을 위해서도 반드시 필요하다.

본 연구에서는 수중폭발 충격응답해석을 위한 대표적 프로그램인 LS-DYNA/USA(Shin and DeRuntz 1996, 이상갑 등 2003, 정정훈 등 2000)를 이용하여 MIL-S-901D 중중량 충격시험기의 하나인 SFSP에 대해 수중폭발에 의한 충격응답해석을 수행하였다. 또한, 수치해석 결과의 정확도는 미국 해군연구소(Naval Research Laboratories, NRL)의 충격시험결과(Clements 1972)와 비교·검증하고, 향후 수치해석을 통한 중중량 탑재장비의 내충격 설계검증에의 활용 가능성을 검토하였다.

## 2. MIL-S-901D 중중량 충격시험

중중량 충격시험은 시험 대상 장비의 중량이 60,000lb까지는 SFSP를 이용하고 400,000lb까지는 대형 중중량 충격시험기(Large Floating Shock Platform, LFSP)을 사용하여 실제 수중폭발 시험을 실시한다. 다음에는 본 연구에서 고려한 SFSP에 대해서 간략히 소개한다. SFSP는 1959년에 미국 NSRDC(Naval Ship Research and Development Center)의 UERD(Underwater Explosions Research Department)에 의해 처음 만들어졌으며 최대 시험 중량은 30,000lb로 설계되었으나 현재의 MIL-S-901D에서는 60,000lb의 탑재장비까지 시험을 할 수 있도록 규정하고 있다. 초기 모델은 길이 22ft에 폭 16ft였으나 현재는 길이 방향만 6ft가 더 늘어난 28ft에 폭 16ft의 SFSP를 사용하고 있다.

SFSP 구조는 선체에 탑재된 장비가 선체로부터 받는 하중조건과 유사하게 만들기 위해 3ft 깊이의 이중저 구조로 되어 있으며 SFSP를 둘러싼 외판은 대부분 1in 두께의 고장력강(HY-80)으로 되



Fig. 1 MIL-S-901D heavy weight shock test using SFSP(Hi-Test Lab., USA)

어있다. 시험 대상 장비가 설치되는 내저판의 선측은 높이 3ft, 폭 0.5ft의 이중 선체이며, 이로 인해 실제 시험 대상 장비의 설치 면적은 길이 26ft에 폭 14ft이다. 높이방향으로는 충격시험 중에 장비 구성품이 이탈하여 물 속에 빠지지 않게 하고 각종 기후 조건으로 인한 영향을 줄이기 위하여 캔버스(canvas) 등을 이용하여 반원통형 구조(canopy)로 상부를 막고 있다.

SFSP의 자체 중량은 약 85,000lb이며 이 경우 3ft의 흘수를 갖는다. 시험 대상 장비는 가능한 한 실제 함정에 부착되는 방법과 동일한 방법으로 SFSP에 설치하여 시험을 수행한다. 한편, 충격시험은 해저면의 영향을 줄이기 위하여 수심이 적어도 35~40ft 이상 되는 곳에서 수행하여야 한다. Fig. 1은 SFSP를 이용한 중중량 충격시험의 한 예를 보여주고 있다.

## 3. 충격응답해석 및 고찰

중중량시험 충격응답해석을 위한 수치해석 대상물은 NRL에서 SFSP에 탑재·시험한 전체중량 35,800lb의 잠수함용 디젤엔진(diesel engine)을 선정하였다. 수치해석 조건은 대상 주기관 전체가 탑재된 경우와 분해하는 과정에 해당하는 2가지 중량조건을 추가로 고려하였다. 폭약은 MIL-S-901D에서 규정하고 있는 HBX-1 60lb를 이용하였으며, 폭발조건은 Fig. 2에 보인 바와 같이 폭약 깊이 10, 20 및 30ft에 대하여 각각 폭발거리(stand-off distance) 20, 30, 40, 60, 80ft인

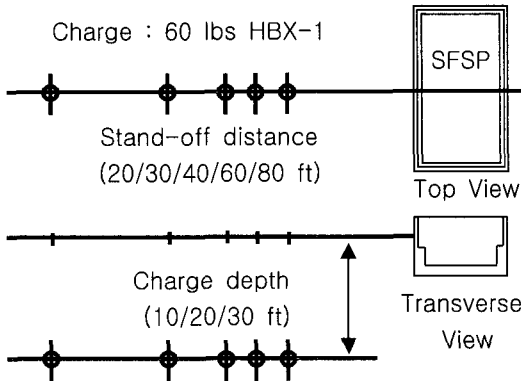


Fig. 2 Shot geometry of heavy weight shock testing at NRL

Table 1 Test conditions of MIL-S-901D heavy weight shock testing

Test condition	SFSP	LFSP
Depth of explosive charge below water surface (for all shots)	24ft	20ft
Explosive charge weight/composition	HBX-1	
	60lbs	300lbs
Shot direction :	Fore-and-Aft Athwartship	
Shot 1		
Shots 2, 3, and 4		
Stand-off distance :		
Shot 1	40ft	110ft
Shot 2	30ft	80ft
Shot 3	25ft	65ft
Shot 4	20ft	50ft

경우로 설정하였다. Table 1은 MIL-S-901D에서 규정하는 중중량 충격시험 조건을 보여주고 있다.

현재 수중폭발 충격응답해석에 널리 사용되고 있는 대표적인 프로그램인 LS-DYNA/USA를 사용하여 충격응답해석을 수행하였다. Table 2에서와 같이 중량조건 35,800lb에 대하여 14가지, 그리고 분해과정에서 구현된 중량조건 9,000 및 18,400lb에 대하여 각각 7가지 씩, 총 28개의 충격시험 조건에 대하여 수치해석을 수행하였다.

Table 2 Shock analysis conditions

Charge depth(ft)	Stand-off distance(ft)	Load weight(lb)		
		9,000	18,400	35,800
10	20	.	.	◎
	30	.	.	◎
	40	.	.	◎
	60	.	.	◎
20	20	◎	◎	◎
	30	◎	◎	◎
	40	◎	◎	◎
	60	◎	◎	◎
30	80	.	.	◎
	20	.	.	◎
	30	.	.	◎
	40	◎	◎	◎
30	60	◎	◎	◎
	80	◎	◎	◎

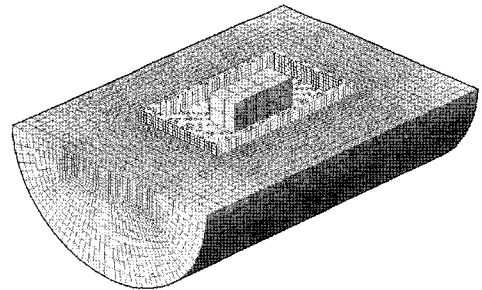


Fig. 3 Finite element model of M/E module, SFSP and surrounding fluid

SFSP와 같은 부유구조물(floating structures)의 수중폭발 충격응답해석에 있어서는 충격파 전파 시 자유수면과 접수구조표면에 의해 발생하는 인장반사파(rarefaction wave)로 인한 광역 캐비테이션(bulk cavitation)과 선각 캐비테이션(hull cavitation)의 영향을 고려하여야 한다(이상갑 등 2003). 이를 위해 본 연구에서는 Fig. 3에 보인 바와 같이 SFSP 뿐만 아니라 주변 유체를 포함하여 3차원 유한요소 모델링을 하였다.

3차원 유한요소 모델은 총 70,178개의 절점(node)을 이용하여, SFSP 모델링을 위한 판(shell)요소 10,784개, 주변유체 모델링을 위해 음

향(acoustic) 체적요소 57,844개, 그리고 유체 모델링에서 제외된 기타 유체영역의 영향을 고려하기 위한 DAA 경계(Doubly Asymptotic Approximation boundary segment)요소 5,696개로 구성하였다. 또한 SFSP에 설치된 주기관은 동일한 중량을 갖는 강체 블록으로 모델링 하였다. Fig. 4에는 NRL의 시험결과와 비교하기 위해 주기관이 취부된 지지부에서의 해석결과 추출 위치를 도시하였다.

Fig. 5에는 수치해석을 위한 시나리오 중에서 폭약 깊이 10ft, 시험중량 35,800lb인 경우에 대해 폭발거리에 따라 상기 데이터 추출 위치 4곳에서의 평균 속도응답 시간이력을 도시하였다. 이로부터 폭발거리가 멀어질수록 응답이 줄어들며, NRL 시험결과와 마찬가지로 50msec이후에는 충격거동이 거의 사라짐을 확인할 수 있다.

계산된 각 방향 평균속도 최대값과 NRL의 시험결과를 Fig. 6~Fig. 8에 함께 도시하였는데 해석결과와 시험결과와의 부합성이 매우 양호함을 알 수 있다. 한편, 충격응답 크기는 시험중량과 폭발 깊이보다는 폭발거리에 거의 선형적으로 반비례함을 알 수 있다.

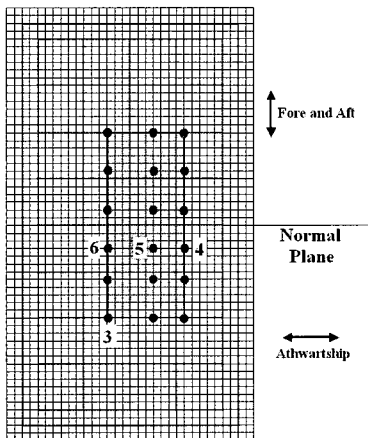


Fig. 4 Data acquisition nodes

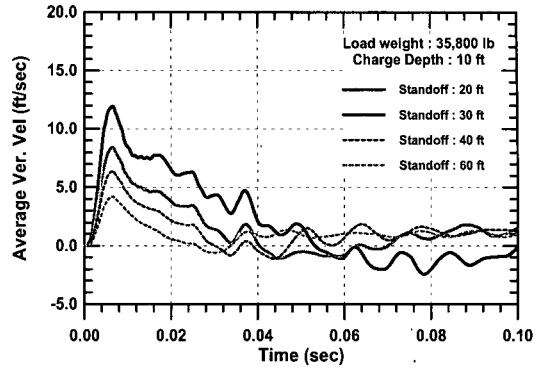
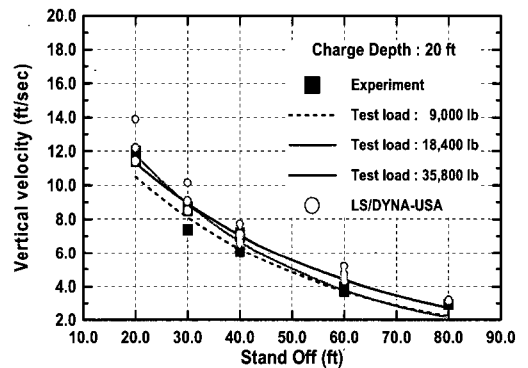
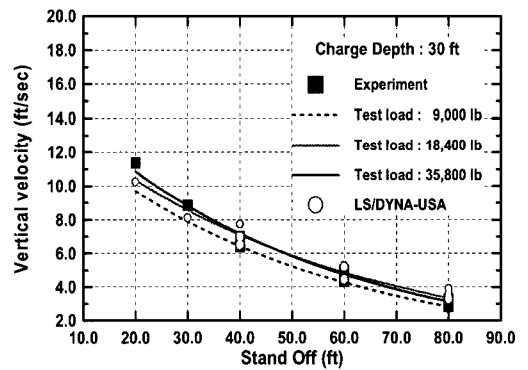


Fig. 5 Time history of average vertical velocity for shot at 10ft depth

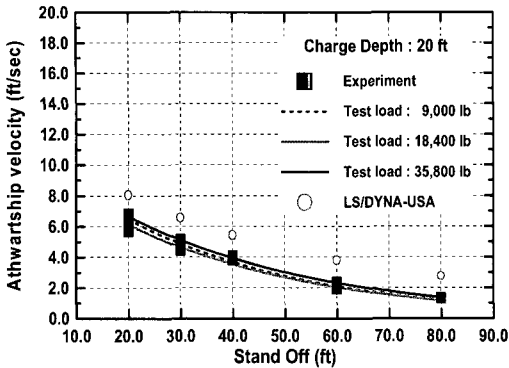


(a) 20ft charge depth

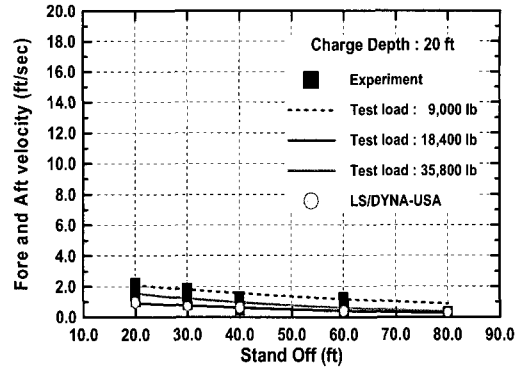


(b) 30ft charge depth

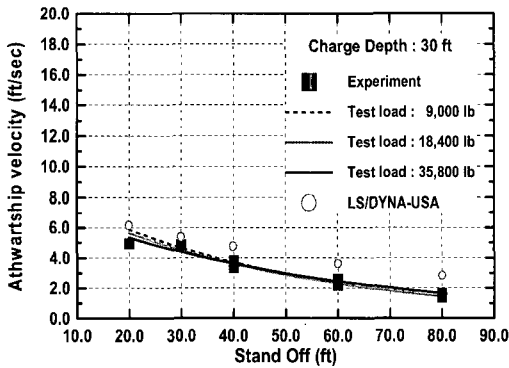
Fig. 6 Peak vertical velocity vs. stand-off distance



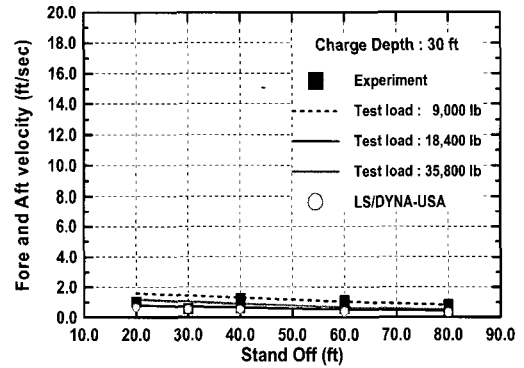
(a) 20ft charge depth



(a) 20ft charge depth



(b) 30ft charge depth



(b) 30ft charge depth

Fig. 7 Peak athwartship velocity vs. stand-off distance

Fig. 8 Peak fore-and-aft velocity vs. stand-off distance

4. 결론

본 연구에서는 MIL-S-901D에 규정하는 중중량 충격시험기의 하나인 SFSP에 대해 LS-DYNA/USA를 이용하여 수중폭발 충격응답 해석을 수행하였다. 또한, 수치해석 결과가 NRL에서 수행한 시험결과와 매우 잘 일치하여 수치해석을 통해 중중량 충격시험에 따른 응답 특성을 충분히 파악할 수 있음을 확인하였다.

현재 국내에서는 MIL-S-901D 중중량 충격시험기가 없기 때문에 중중량의 함정 탑재장비에 대해서는 내충격 안전성 검증을 거의 대부분 DDAM (Dynamic Design Analysis Method) 해석에만 의존하고 있다(Scavuzzo and Pusey 2000). 그러나

스펙트럴 해석 방법인 DDAM 해석은 대상 장비의 충격응답이 선형이고 탄성 한도 내에 있다는 가정 하에서 개발된 방법이므로 주기관과 같이 비선형 탄성마운트를 채용하는 장비들에 적용하는 것은 원칙적으로 불가능하다. 이런 경우 본 연구에서 제시하는 직접 시간적분법을 이용한 과도응답 (transient response) 해석을 적용하는 것이 보다 적절하다고 판단된다.

한편, 본 연구를 통해 정립된 해석방법은 실제 함정에 탑재되는 중중량 장비들의 내충격 안전성 평가뿐만 아니라 전선(whole ship) 충격응답해석에 있어서 선체구조-받침대-장비의 연성효과를 고려하여 보다 정확한 장비시스템의 충격응답 예측에 직접 활용이 가능하리라 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 이상갑, 권정일, 정정훈, 2003, "캐비테이션을 고려한 부유구조물의 3차원 수중폭발 충격응답 해석," 대한조선학회 논문집, 제 40권, 제 6호, pp. 1-11.
- 정정훈, 김병현, 정태영, 1996, "항정용 탑재 장비의 내충격 성능 평가 기술," 대한조선학회지, 제 33권, 제 2호, pp. 41-48.
- 정정훈, 허영철, 김병현, 2000, "LS-DYNA/USA를 이용한 부유구조물의 수중폭발 충격응답 해석," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 341-344.
- Clements, E.W., 1972, Shipboard Shock and Navy devices for its simulation, Naval Research Laboratory Report No. 7396.
- MIL-STD-901D, 1989, "Shock Tests, H.I. (High Impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for".
- Scavuzzo, R.J. and Pusey, H.C., 2000, "Naval Shock Analysis and Design," The Shock And Vibration Information Analysis Center Monogram No. 17.
- Shin, Y.S. and DeRuntz, J.A., 1996, USA/LS-DYNA3D Software Training Course.



&lt; 권 정 일 &gt;



&lt; 이 상 갑 &gt;



&lt; 정 정 훈 &gt;